

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Mai 2005 (26.05.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/048444 A1

(51) International Patentklassifikation⁷: H02P 6/08, 6/14 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHWARZKOPF, Johannes (DE/DE); Am Klöftling 13, 9782 Marktredwitz (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/051766

(22) Internationales Anmeldedatum: 11. August 2004 (11.08.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AJ, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GL, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,

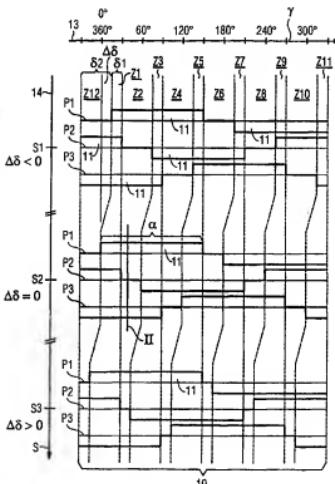
(30) Angaben zur Priorität: 103 52 749.4 12. November 2003 (12.11.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTROL OF AN ELECTRIC MOTOR WITH CONTINUOUS ADJUSTMENT OF THE COMMUTATION ANGLE

(54) Bezeichnung: ANSTEUERUNG EINES ELEKTROMOTORS MIT KONTINUIERLICHER EINSTELLUNG DES KOMMUTIERUNGSWINKELS



(57) Abstract: The invention relates to a method for improving commutation of the at least one phase (P1) of an electric motor (1). For this purpose, the commutation angle (α) of the one or more phases (P1) is continuously varied in accordance with the rotary frequency (f) of the electromagnetic energizing field (F) of the electric motor (1) and/or in accordance with an adjustable variable (S) which is characteristic of the driving power. A device (9) suitable for carrying out the inventive method comprises a frequency converter (5) and a control unit (6) controlling the same and adapted to carry on the invention.

(57) Zusammenfassung: Für eine verbesserte Kommutierung der mindestens einen Phase (P1) eines Elektromotors (1) wird ein Verfahren angegeben, bei dem der Kommutierungswinkel (α) der oder jeder Phase (P1) in Abhängigkeit der Drehfrequenz (f) des elektromagnetischen Erregerfeldes (F) des Elektromotors (1) und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße (S) kontinuierlich variiert wird. Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung (9) umfasst einen Umrichter (5) und eine diesen ansteuernde Steuereinheit (6), die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist.

WO 2005/048444 A1



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KB, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Ansteuerung eines Elektromotors mit kontinuierlicher Einstellung des Kommutierungswinkels

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Kommutierung der mindestens einen Phase eines Elektromotors.

10 Ein Umrichter (oder Stromwender) wird herkömmlicherweise verwendet, um eine Phase des elektromagnetischen Erregerfelds eines Elektromotors im Bereich des Nulldurchgangs umzupolen. Als Nulldurchgang wird die Stellung der Phase bezeichnet, in welcher die Phase parallel zu dem Statorfeld des Motors ausgerichtet ist, so dass kein Drehmoment auf den Rotor des Motors ausgeübt wird.

15

Bei einem modernen Elektromotor, wie er insbesondere in der Antriebstechnik von Elektrofahrzeugen verwendet wird, erfolgt die Kommutierung zumeist elektronisch mittels Leistungstransistoren.

20 Für die Kommutierung eines solchen elektronisch kommutierten Motors wird häufig ein elektrischer Vollzyklus, d.h. eine

25 volle Drehung des Erregerfeldes um 360° , in gleichförmige Zonen (oder "States") unterteilt. Zu Beginn einer jeden Zone können die Leistungstransistoren für die Kommutierung einer Phase an- oder ausgeschaltet werden. Der Zustand der Phase bleibt dann zumindest bis zum Ende der Zone erhalten, kann 30 aber optional durch ein pulsweitenmoduliertes (PWM-)Signal überlagert werden.

Durch die Aufteilung des Vollzyklusses in Zonen wird eine diskrete Anzahl möglicher Kommutierungswinkel der oder jeder

35 Phase festgelegt. Als Kommutierungswinkel ist hierbei derjenige Teil des Vollzyklusses bezeichnet, während dessen die oder jede Phase angesteuert, d.h. erregt ist. Bei einer Auf-

teilung des Vollzyklusses in zwölf gleiche Zonen kann der Kommutierungswinkel beispielsweise 180° , 150° , 120° , ... betragen. Bisher wird ein Elektromotor häufig bei einem festen Kommutierungswinkel betrieben.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kommutierung eines Elektromotors anzugeben, durch welches für jeden Betriebspunkt des Motors ein gutes Antriebsergebnis erzielt wird. Ein gutes Antriebsergebnis äußert sich insbesondere in einer niedrigen und gleichmäßigen Stromaufnahme des Motors bei vergleichsweise hohem und zeitlich stabilem Drehmoment, einer geringen Belastung des Motors und/oder des Umrichters, einer guten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Motors, einer guten elektromagnetischen Verträglichkeit, etc.

10 15 Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine besonders geeignete Vorrichtung zur Durchführung des genannten Verfahrens anzugeben.

Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Danach ist vorgesehen, den Kommutierungswinkel der oder jeder Phase des Elektromotors in Abhängigkeit der Drehfrequenz des Erregerfeldes und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße kontinuierlich zu variieren.

25

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass eine Variation des Kommutierungswinkels mit der Drehzahl des Motors oder der Motorleistung vorteilhaft ist. So führt ein Betrieb des Motors unter vergleichsweise hohem Kommutierungswinkel im hohen Drehzahl- oder Leistungsbereich zu einer guten Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Motors, einer geringen Stromwelligkeit und einer vergleichsweise niedrigen Verlustleistung. Andererseits hat im niedrigen Drehzahl- oder Leistungsbereich der Betrieb des Motors unter vergleichsweise kleinem Kommutierungswinkel den Vorteil, dass die Transistoren und Kondensatoren des Umrichters vergleichsweise gering belastet werden, insbesondere zumal auf diese Weise ein Einsatz von PWM

nicht oder in geringerem Maße erforderlich ist. Der Erfindung liegt weiterhin die Überlegung zugrunde, dass eine diskrete, d.h. stufenweise Änderung des Kommutierungswinkels eine Unstetigkeit des Betriebsverhaltens des Motors zur Folge hätte.

5 Eine solche Unstetigkeit könnte erkanntermaßen im Betrieb des Motors nachteilig sein. Insbesondere wäre zu erwarten, dass der Motor in einem Übergangsbereich zwischen zwei Betriebspunkten hin und her springt. Hierdurch würden starke Schwan-
10 kungen in der Stromaufnahme und dem Drehmoment auftreten, wo-
durch durch ständige Beschleunigung und Verzögerung des Ro-
tors eine vergleichsweise hohe Motorbelastung auftreten wür-
de.

15 Indem der Kommutierungswinkel erfindungsgemäß kontinuierlich variiert wird, kann die Kommutierung des Motors in einfacher Weise auf jeden Betriebspunkt des Motors besonders gut ange-
passt werden, ohne dass eine solche Unstetigkeit auftritt.

20 In einer besonders einfach zu realisierenden Ausführung der Erfindung wird der Vollzyklus des Erregerfeldes in eine An-
zahl von Zonen unterteilt, wobei die oder jede Phase des Mo-
tors entsprechend einem in Abhängigkeit dieser Zonen hinter-
legten Steuermuster kommutiert wird. Dabei wird durch Varia-
25 tion der Winkelausdehnung mindestens zweier Zonen die konti-
nuierliche Variation des Kommutierungswinkels ermöglicht.

Vorzugsweise sind die Zonen in zwei Gruppen unterteilt, wobei Zonen derselben Gruppe stets dieselbe Winkelausdehnung aufweisen. Dabei sind die Zonen der verschiedenen Gruppen alter-
30 nierend zueinander angeordnet, so dass eine Zone der ersten Winkelausdehnung stets auf eine Zone der zweiten Winkelaus-
dehnung folgt und umgekehrt. Im Zuge der Einstellung des Kom-
mutierungswinkels können dabei die Zonen der ersten Gruppe zugunsten der Zonen der zweiten Gruppe hinsichtlich ihrer 35 Winkelausdehnung verkürzt oder verlängert werden. Die oder jede Phase wird zweckmäßigerweise über eine ungerade Anzahl aufeinander folgender Zonen angesteuert (oder erregt). Der

Kommutierungswinkel wird folglich durch die Summe der Winkel- ausdehnungen von 1,3,5, ... aufeinander folgender Zonen fest- gelegt und variiert somit mit dem Größenverhältnis der Zonen der beiden Gruppen.

5

Bevorzugt wird der Kommutierungswinkel im Hinblick auf den Leistungsbereich des Motors derart eingestellt, dass der Kom- mutierungswinkel bei einer geringen Drehzahl oder bei einer geringen Leistung des Motors, minimal und bei einer hohen Drehzahl oder einer hohen Leistung maximal ist.

10

Für eine bedarfsangepasste Einstellung des Kommutierungswin- kels ist es besonders vorteilhaft als Steuervariable für den Kommutierungswinkel nicht die reine Drehfrequenz heranzuzie- hen, sondern eine Stellgröße, die, ähnlich der Gaspedalstel- lung eines Automobils, für die Motorleistung charakteristisch ist. Diese Stellgröße wird zeckmäßigerweise, insbesondere mittels eines PI(Proportional/Integral)-Reglers aus der (Ist-) Drehfrequenz und einer zugehörigen Sollgröße abgeleitet.

15

Das Betriebsverhalten des Motors wird bevorzugt weiterhin durch Pulsweitenmodulierung der Phase verbessert. Dies bedeu- tet, dass die oder jede Phase innerhalb des Kommutierungswin- kels nicht konstant, sondern gepulst angesteuert wird. Die Weite, d.h. die Winkelausdehnung, dieser Einzelpulse wird wiederum in Abhängigkeit der Drehfrequenz oder der Stellgröße moduliert, d.h. variiert.

20

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, einzelne der vorstehend beschriebenen Parameter zur Steuerung des Be- triebssverhaltens des Elektromotors, d.h. des Kommutierungs- winkels sowie der Pulsweitenmodulierung in einem bestimmten Drehzahl- oder Leistungsbereich des Motors bevorzugt einzu- setzen. In diesem Sinne wird in einem Niederleistungsbereich des Motors bevorzugt Pulsweitenmodulierung eingesetzt, wäh- rend der Kommutierungswinkel konstant gehalten wird. In einem Hochleistungsbereich des Motors wird in dieser Ausführung des

25

30

35

erfindungsgemäßen Verfahrens dann der Kommutierungswinkel zwischen seinem Minimalwert und seinem Maximalwert variiert, während das Pulsweitenverhältnis konstant gehalten wird. Das Pulsweitenverhältnis beträgt hier insbesondere 100%, d.h. die 5 oder jede Phase wird während des Kommutierungswinkels konstant angesteuert.

Das vorstehend beschriebene Verfahren ist wahlweise für eine 10 unipolare Ansteuerung als auch eine bipolare Ansteuerung der oder jeder Phase vorgesehen.

Bezüglich der zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens vorgesehenen Vorrichtung wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 11. Danach 15 umfasst die Vorrichtung einen Umrichter, der die mindestens eine Phase eines Elektromotors ansteuert. Der Umrichter wird seinerseits durch eine Steuereinheit angesteuert, wobei diese zur Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens ausgebildet ist.

Der Umrichter ist vorzugsweise ein mit Leistungshalbleiterbauteilen zur Beschaltung der oder jeder Phase bestückter elektronischer Umrichter. Die Steuereinheit ist hierbei insbesondere als mit entsprechenden Software-Modulen ausgestatteter Mikrocontroller ausgeführt. Denkbar wäre eine Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens aber auch bei einem mechanischen Umrichter. Die verfahrensgemäße Zoneneinteilung könnte hier durch geeignete, z.B. trapezförmige Gestaltung der Stromabnehmerflächen des Umrichters realisiert werden. Eine 20 kontinuierliche Änderung des Kommutierungswinkels könnte dabei mittels einer geeigneten Steuereinheit durch leistungsabhängige axiale Verschiebung des Umrichters bezüglich der korrespondierenden Schleifkontakte erreicht werden.

Der Steuereinheit wird bevorzugt durch einen Sensor die 25 (zeitabhängige) Orientierung des Erregerfelds und/oder dessen Drehfrequenz als Eingangsgröße zugeführt.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

5 FIG 1 schematisch einen Elektromotor mit einem vorge-schalteten Umrüchter und einer Steuereinheit zur Ansteuerung des Umrüchters,
FIG 2 schematisch eine Orientierung des elektromagneti-schen Erregerfelds bei einer dreiphasigen, bipolar
10 10 angesteuerten Ausführung des Elektromotors gemäß FIG 1 innerhalb eines Vollzyklusses,
FIG 3 schematisch ein Steuermuster für den Elektromotor in Ausführung gemäß FIG 2,
FIG 4 in einer Darstellung gemäß FIG 3 ein Steuermuster
15 für eine fünfphasige, unipolar angesteuerte Ausfüh-rung des Elektromotors,
FIG 5 ein Stellglied für die Ableitung einer der Steuer-einheit als Eingangsgröße zugeführten Stellgröße anhand der (Ist-)Drehzahl und einer zugehörigen
20 Sollgröße,
FIG 6 in einem schematischen Flussdiagramm ein Verfahren zur Kommutierung des Elektromotors gemäß FIG 1 und
FIG 7 in einem Diagramm im Zuge des Verfahrens gemäß FIG 6 in Abhängigkeit der Stellgröße vorgenommene Para-metereinstellungen.
25

Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren stets mit denselben Bezugszeichen versehen.

30 Das in FIG 1 grob vereinfacht dargestellte Schema zeigt einen Elektromotor 1 mit einem in einem Stator 2 drehbaren Rotor 3. Der Rotor 3 trägt einen Erregerkreis 4 zur Erzeugung eines elektromagnetischen Erregerfelds F1, das mit dem Rotor 3, und damit gegen ein ortsfestes elektromagnetisches Statorfeld H
35 rotiert.

Wie in dem vereinfachten Schema gemäß FIG 1 nicht explizit dargestellt ist, weist der Elektromotor 1 in der Regel mehrere Erregerkreise 4 auf. Jeder Erregerkreis 4 produziert somit lediglich eine Komponente des gesamten Erregerfelds F. Ein 5 Erregerkreis 4 sowie die von diesem erzeugte Komponente des Erregerfelds F sind zusammenfassend als Phase Pi (i = 1, 2, 3, ...) bezeichnet.

Der Erregerkreis 4 jeder Phase Pi ist an einen Umrichter 5 10 angeschlossen, mittels welchem ein Feld erzeugender Stromfluss in dem Erregerkreis 4 induzierbar ist. Dies wird als Ansteuerung oder Erregung der jeweiligen Phase Pi bezeichnet. Es wird dabei zwischen unipolarer und bipolarer Ansteuerung unterschieden. Bei unipolarer Ansteuerung ist der Stromfluss 15 binär, d.h. zwischen einem "0"-Status und einem "1"-Status ein- und ausschaltbar. Bei bipolarer Ansteuerung ist der Stromfluss im Erregerkreis 4 umpolbar, so dass die jeweilige Phase Pi zwischen den Statuswerten -1,0 und +1 steuerbar ist. Bei Umpolung des Stromflusses im Erregerkreis 4 der Phase Pi 20 wird auch die Orientierung der zugehörigen Feldkomponente des Erregerfelds F umgepolt.

Die Beschaltung der Phasen Pi geschieht innerhalb des Umrichters 5 mittels (nicht näher dargestellter) Leistungstransistoren. Der Umrichter 5, und insbesondere dessen Leistungs- 25 transistoren, werden von einer als Mikrocontroller ausgeführten Steuereinheit 6 angesteuert. Die Steuereinheit 6 ist eingangsseitig über ein Stellglied 7 mit einem im Elektromotor 1 angeordneten Sensor 8, insbesondere einem Hall-Sensor, verbunden. 30

Der Sensor 8 erhebt ein für die zeitabhängige Orientierung des Erregerfelds F, und damit dessen Drehfrequenz f charakteristische Messgröße und leitet diese dem Stellglied 7 zu. Dem 35 Stellglied 7 wird des Weiteren eine Sollgröße f0 für die Drehfrequenz zugeleitet. Anhand der (Ist)-Drehfrequenz f und der zugehörigen Sollgröße f0 ermittelt das Stellglied 7 auf

nachfolgend näher beschriebene Weise eine Stellgröße S und leitet diese der Steuereinheit 6 zu.

5 Der Umrichter 5 und die Steuereinheit 6 bilden zusammen mit dem Stellglied 7 und dem Sensor 8 eine Vorrichtung 9 zur Kommutierung der oder jeder Phase Pi des Elektromotors 1.

10 Das in FIG 2 abgebildete Schema zeigt eine Orientierung, d.h. eine "Momentaufnahme", des Erregerfelds F innerhalb eines Vollzyklusses 10. Als Vollzyklus wird eine Drehung des Erregerfelds F um einen Vollkreis von 360° bezeichnet. In der Darstellung gemäß FIG 2 ist der Elektromotor 1 dreiphasig und bipolar ansteuerbar ausgeführt. Das Erregerfeld F umfasst somit die drei Phasen P1, P2 und P3. Die Pfeilrichtung deutet 15 hierbei die Polarität der jeweiligen Feldkomponente an. So ist die Phase P1 positiv angesteuert ("1"-Status), d.h. mit der positiven Versorgungsspannung verbunden. Die Phase P3 ist negativ angesteuert ist ("−1"-Status), d.h. mit negativer Versorgungsspannung oder GND verbunden. Die Phase P2 ist 20 nicht angesteuert ("0"-Status), wie durch die fehlende Pfeilspitze angedeutet ist.

25 Der Vollzyklus 10 ist in zwölf Zonen Zi ($i = 1, 2, \dots, 12$) aufgeteilt. Die Richtung des Statorfelds H verläuft in der Darstellung durch die Zonen Z6 und Z12. Die Einteilung des Vollzyklusses 10 in Zonen Zi dient einer vereinfachten Ansteuerung des Stromenders 5, indem der Status einer Phase Pi stets dann geändert werden kann, wenn die Phase die Grenzlinie zwischen zwei Zonen Zi überquert. Gemäß FIG 2 wird jede Phase Pi 30 beim Übergang von Zone Z0 auf Z1 positiv angesteuert ($0 \rightarrow 1$) und beim Übergang von Zone Z5 auf Zone Z6 wieder abgesteuert ($1 \rightarrow 0$). Beim Übergang von Zone Z6 auf Zone Z7 wird die Phase Pi negativ angesteuert ($0 \rightarrow -1$) und beim Übergang von Zone Z11 auf Z12 wieder abgesteuert ($-1 \rightarrow 0$).

35

Der Winkel zwischen Ansteuerung und Absteuerung einer Phase Pi ist als Kommutierungswinkel α bezeichnet. Die innerhalb

des Kommutierungswinkels α eingeschlossenen Zonen Z_i bilden zusammen einen Kommutierungsbereich 11 . Bei der in FIG 2 beispielhaft dargestellten Aufteilung des Vollzyklusses 10 in zwölf gleiche Zonen Z_i mit einer Winkelausdehnung von je 30° , und Kommutierungsbereichen 11 , die jeweils fünf Zonen Z_i umfassen, beträgt der Kommutierungswinkel $\alpha = 150^\circ$.

Der Winkel zwischen der Orientierung des Statorfeldes H (und damit dem Nulldurchgang einer Phase P_i) und dem Beginn des Kommutierungsbereichs 11 wird als Zündwinkel β bezeichnet. Im Beispiel gemäß FIG 2 beträgt der Zündwinkel $\beta \approx 15^\circ$.

Um den Kommutierungswinkel α kontinuierlich verstetigen zu können, ist die Winkelausdehnung der Zonen Z_i variabel. Die Zonen Z_i werden hierbei alternierend in eine die ungeradzahligem Zonen Z_l ($l = 1, 3, 5, \dots, 11$) umfassende erste Gruppe und eine die geradzahligem Zonen Z_m ($m = 2, 4, 6, \dots, 12$) umfassende zweite Gruppe aufgeteilt. Die Zonen Z_l der ersten Gruppe erhalten dabei eine Winkelausdehnung von

$$20 \quad \delta_1 = \frac{360^\circ}{n} + \Delta\delta. \quad \text{GLG 1}$$

Die Zonen Z_m erhalten entsprechend eine Winkelausdehnung von

$$25 \quad \delta_2 = \frac{360^\circ}{n} - \Delta\delta. \quad \text{GLG 2}$$

n bezeichnet dabei die Gesamtanzahl der Zonen Z_i , im Beispiel gemäß FIG 2 somit $n = 12$. Für den Differenzwinkel $\Delta\delta$ gilt

$$30 \quad -\frac{360^\circ}{n} \leq \Delta\delta \leq \frac{360^\circ}{n}. \quad \text{GLG 3}$$

FIG 3 zeigt schematisch ein Steuermuster 12 , wie es zur Ansteuerung des Umrichters 5 in der Steuereinheit 6 hinterlegt ist. Das Steuermuster 12 gemäß FIG 3 ist für einen dreiphasi-

gen, bipolaren Elektromotor 1 ausgelegt, der dem Schema gemäß FIG 2 entspricht. Das Steuermuster 12 ist in Form eines zweidimensionalen Diagrammes dargestellt, auf dessen Horizontalachse 13 der Orientierungswinkel γ der Phase P1 innerhalb des 5 Vollzyklusses 10 (vgl. FIG 2) angetragen ist. Auf der Vertikalachse 14 ist die Stellgröße S kontinuierlich angetragen. Das hinterlegte Steuermuster 12 ist also innerhalb eines vor-gegebenen Intervalls für jeden beliebigen Wert der Stellgröße S definiert. Aus Gründen der Darstellbarkeit ist das Steuer-10 muster 12 in FIG 3 nur für drei daraus beispielhaft ausge-wählte, diskrete Werte S1, S2 und S3 der Stellgröße S abgebil-det.

In der Darstellung des Steuermusters 12 gemäß FIG 3 äußern 15 sich die Zonen Zi als in horizontaler Richtung nebeneinander angeordnete Flächen, die durch gestrichelte Linien gegeneinander abgegrenzt sind. In Übereinstimmung mit dem auf der Horizontalachse 13 angetragenen Orientierungswinkel γ bezieht sich auch die in FIG 3 dargestellte Zonenbeschriftung auf die 20 Orientierung der Phase P1 als Referenzphase. Die Position der Phase P2 ist hierzu stets um vier Zonen, die Position der Phase P3 stets um acht Zonen versetzt. Der Status jeder Phase Pi bei gegebenem Wert S1, S2, S3 der Stellgröße S ist in FIG 3 in Form einer Stufenfunktion mit den Werten -1, 0, 1 in Abhän-25 gigkeit des Orientierungswinkels γ wiedergegeben.

Aus FIG 3 ist ersichtlich, dass in Abhängigkeit der Stellgröße S das Größenverhältnis δ_1/δ_2 benachbarter Zonen Zi und Z(i ± 1) variiert wird. So ist bei S = S1 der Differenzwinkel $\Delta\delta$ 30 negativ, so dass $\delta_1 < \delta_2$ gilt. Umgekehrt ist bei S = S3 der Differenzwinkel $\Delta\delta$ positiv, so dass $\delta_1 > \delta_2$ gilt. Bei S = S2 wird der in FIG 2 dargestellte Spezialfall erreicht, bei dem der Differenzwinkel $\Delta\delta$ verschwindet und dementsprechend alle 35 Zonen Zi die gleiche Winkelausdehnung $\delta_1 = \delta_2$ aufweisen. Die in FIG 2 dargestellte momentane Orientierung der Phasen P1, P2 und P3 ist in FIG 3 durch einen mit II gekennzeichneten senk-rechten Strich angedeutet.

5 Durch Vergleich entsprechender Kommutierungsbereiche 11 zu verschiedenen Werten S1, S2, S3 der Stellgröße S wird deutlich, dass der (der Länge des Kommutierungsbereichs 11 entsprechende) Kommutierungswinkel α infolge der Änderung des Differenzwinkels $\Delta\delta$ kontinuierlich variiert wird. Wie aus der Darstellung gemäß FIG 3 direkt zu entnehmen ist, gilt

$$\alpha = m \cdot \frac{360^\circ}{n} + \Delta\delta, \quad \text{GLG 4}$$

10

wobei m die Anzahl von Zonen Zi innerhalb eines Kommutierungsbereichs 11 bezeichnet. Allgemein ist m ungeradzahlig. Gemäß FIG 3 ist m = 5.

15 In FIG 4 ist ein alternativ ausgeführtes Steuermuster 12' dargestellt, das zur Ansteuerung einer fünfphasigen, unipolar angesteuerten Ausführung des Elektromotors 1 ausgelegt ist. Das Steuerprogramm 12 gemäß FIG 4 umfasst demnach Statusfunktionen für fünf Phasen Pi (i = 1, 2, ..., 5), die entsprechend 20 der unipolaren Ansteuerung zwischen den diskreten Werten 0 und 1 variieren. Weiterhin ist der Vollzyklus 10 hier in zwanzig Zonen Zi (i = 1, 2, 3, ..., 20) gegliedert. Das Steuermuster 12' entspricht ansonsten dem in FIG 3 beschriebenen Steuermuster 12.

25

Die Funktionsweise des Stellglieds 7 ist in FIG 5 näher ausgeführt. Hieraus ist erkennbar, dass die von dem Sensor 8 erhobene Drehfrequenz f und die zugehörige Sollgröße f0 einem Differenzmodul 15 zugeführt werden. Dieses gibt eine Differenzfrequenz Af an einen PI(Proportional/Integral)-Regler 16 aus. Der PI-Regler 16 erzeugt die Stellgröße S, die - ähnlich der Gaspedalstellung eines Automobils - ein Maß für die momentane Leistung des Elektromotors 1 ist.

30 35 In FIG 6 ist das von dem Stellglied 7, der Steuereinheit 6 und dem Umrichter 5 durchgeführte Verfahren zur Kommutierung des Elektromotors 1 in einem schematisch vereinfachten Fluss-

diagramm dargestellt. Danach wird zunächst durch ein Modul 17 die Stellgröße S erhoben und einem Auswahlmodul 19 zugeführt.

Das Auswahlmodul 19 prüft, ob die Stellgröße S mindestens einem vorgegebenen Schwellwert S' entspricht, der einen Hochleistungsbereich 21 (FIG 7) des Elektromotors 1 von einem Niederleistungsbereich 22 abgrenzt. Ist die Bedingung $S \geq S'$ erfüllt, so wird ein Modul 24 angesteuert. Andernfalls, d.h. wenn sich der Elektromotor 1 im Niederleistungsbereich 23 befindet, ein Modul 25.

In jedem der Module 24 und 25 sind Regeln zur Ableitung einer Anzahl von Parametern in Abhängigkeit der Stellgröße S hinterlegt. Diese Parameter umfassen das so genannte Pulsweitenverhältnis R, den Differenzwinkel $\Delta\delta$.

Das Pulsweitenverhältnis R wird im Rahmen einer Pulsweitenmodulation einer Phase Pi während des Kommutierungsbereichs 11 benötigt. Hierbei wird die Phase Pi während des Kommutierungsbereichs 11 pulsartig angesteuert. Das Pulsweitenverhältnis R gibt hierbei an, welcher Anteil des gesamten Kommutierungsbereichs 11 durch die Summe der Pulse eingenommen wird. So wird bei einem Pulsweitenverhältnis von $R = 50\%$ die Phase Pi während des Kommutierungsbereichs 11 insgesamt nur zu 50% angeregt, während die restlichen 50% des Kommutierungsbereichs 11 durch Pausen zwischen den Pulsen eingenommen werden. Bei einem Pulsweitenverhältnis $R = 100\%$ setzen die Pulse dagegen unmittelbar aneinander an, so dass die Phase Pi während des ganzen Kommutierungsbereichs 11 konstant angesteuert wird. Die Frequenz des PWM-Signals ist deutlich höher als die Kommutierungsfrequenz.

Wie aus FIG 7 erkennbar ist, wird die Kommutierung des Elektromotors 1 im Hochleistungsbereich 21 durch Variation des Differenzwinkels $\Delta\delta$, und damit nach GLG 4 durch Variation des Kommutierungswinkels α gesteuert. Im Niederleistungsbereich

23 wird dagegen Pulsweitenmodulation zur Steuerung der Kommu-
tierung eingesetzt.

5 Im Hochleistungsbereich 21 werden die Parameter R und $\Delta\delta$ ent-
sprechend nach den im Modul 24 hinterlegten Gleichungen

$$R = 100\% \quad \text{und} \quad \text{GLG 5a}$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_{\min} + c \cdot (S - S') \quad \text{GLG 5b}$$

10 bestimmt. Dabei ist $\Delta\delta_{\min}$ ein vorgegebener Minimalwert des
Differenzwinkels $\Delta\delta$ und c eine vorgebbare Konstante, die der-
art gewählt ist, dass $\Delta\delta \leq \Delta\delta_{\max}$ gilt. Nach GLG 4 wird bei
der Änderung des Differenzwinkels $\Delta\delta$ auch der Kommutierungs-
winkel α zwischen einem im Niederleistungsbereich 23 einge-
15 stellten Minimalwert und einem im Hochleistungsbereich 20
eingestellten Maximalwert variiert.

Im Niederleistungsbereich 23 werden die Parameter R und $\Delta\delta$
nach den im Modul 25 hinterlegten Gleichungen

$$20 \quad R = \frac{S}{S'} \cdot 100\% \quad \text{und} \quad \text{GLG 6a}$$

$$\Delta\delta = \Delta\delta_{\min} \quad \text{GLG 6b}$$

eingestellt.

25 Soll beispielsweise bei dem dreiphasigen Elektromotor 1 gemäß
FIG 2 und FIG 3 der Kommutierungswinkel α in Abhängigkeit
der Stellgröße S zwischen 120° und 150° sein, so sind $\Delta\delta_{\min} =$
 $-360^\circ/n$ und $\Delta\delta_{\max} = 0$ zu wählen.

30 Die Parameter R und $\Delta\delta$ werden einem Ansteuermodul 26 zuge-
führt, das anhand des Steuermusters 12,12' die Leistungstran-
sistoren des Umrichters 5 ansteuert. Jeder in dem Steuermus-
ter 12,12' mit einem entsprechenden Orientierungswinkel γ an-
35 gegebene Schaltvorgang kann unter Verwendung der Gleichung

$$t = t_0 + \frac{\gamma}{360^\circ \cdot f} + \Delta t \quad \text{GLG 7}$$

direkt in einen entsprechenden Schaltzeitpunkt t umgerechnet werden. t_0 bezeichnet hierbei den Zeitpunkt des letzten Null-
5 durchgangs der Phase P1. Der Zeitpunkt t_0 wird zusammen mit der momentanen Drehfrequenz f von dem Sensor 8 geliefert. Über die vorgebbare Zeitspanne Δt kann der Zündwinkel β eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kommutierung der mindestens einen Phase (P_i) eines Elektromotors (1), bei dem der Kommutierungswinkel (α) 5 der oder jeder Phase (P_i) in Abhängigkeit der Drehfrequenz (f) des elektromagnetischen Erregerfeldes (F) des Elektromotors (1) und/oder einer für die Antriebsleistung charakteristischen Stellgröße (S) kontinuierlich variiert wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Vollzyklus (10) des Erregerfeldes (F) in eine Anzahl (n) von Zonen (Z_i) unterteilt wird, und die oder jede Phase (P_i) entsprechend einem in Abhängigkeit dieser Zonen (Z_i) hinterlegten Steuermuster (12,12') kommutiert wird, wobei die Winkelausdehnung (δ_1, δ_2) mindestens 15 zweier Zonen (Z_i) zur Einstellung des Kommutierungswinkels (α) variiert wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Vollzyklus (10) in alternierend aufeinander folgende Zonen (Z_1) einer ersten Gruppe und Zonen (Z_m) einer zweiten Gruppe aufgeteilt ist, wobei Zonen (Z_1, Z_m) der selben Gruppe jeweils die gleiche Winkelausdehnung ((δ_1, δ_2) aufweisen.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede Phase (P_i) über eine ungerade Anzahl (m) aufeinanderfolgender Zonen (Z_i) angesteuert wird.
- 30 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Kommutierungswinkel (α) zwischen einem einer geringen Drehzahl (f) und/oder Leistung entsprechenden Minimalwert und einem einer hohen Drehzahl (f) 35 und/oder Leistung entsprechenden Maximalwert variiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der Drehfrequenz (f) und einer zugehörigen Sollgröße (f0) die zur Einstellung des Kommutierungswinkels (α) herangezogene, für die Leistung ()

5 charakteristische Stellgröße (S) abgeleitet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede Phase (Pi) in Abhängigkeit der Drehfrequenz (f) des Erregerfeldes (F)

10 und/oder der Stellgröße (S) pulsweitenmoduliert angesteuert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekenn-

zeichnet, dass in einem durch einen geringen Wert der

15 Drehfrequenz (f) oder Stellgröße (S) gekennzeichneten Niederleistungsbereich (23) bei konstantem Kommutierungswinkel (α) die oder jede Phase (Pi) pulsweitenmoduliert angesteuert wird und dass in einem durch einen hohen Wert der Drehfrequenz (f) oder Stellgröße (S) gekennzeichneten Mittelleistungsbereich

20 (21) der Kommutierungswinkel () variiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch

gekennzeichnet, dass die oder jede Phase (Pi) unipolar angesteuert wird.

25

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede Phase (Pi) bipolar angesteuert wird.

30 11. Vorrichtung (9) zur Kommutierung der mindestens einen Phase (Pi) eines Elektromotors (1), mit einem Umrichter (5) und einer Steuereinheit (6) für den Umrichter (5), die zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausgebildet ist.

35

12. Vorrichtung (9) nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch einen Sensor (8), der die Orientierung

und/oder die Drehfrequenz (f) des Erregerfelds (F) bestimmt und der Steuereinheit (6) als Eingangsgröße zuführt.

FIG 1

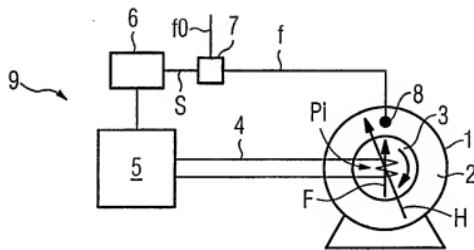


FIG 2

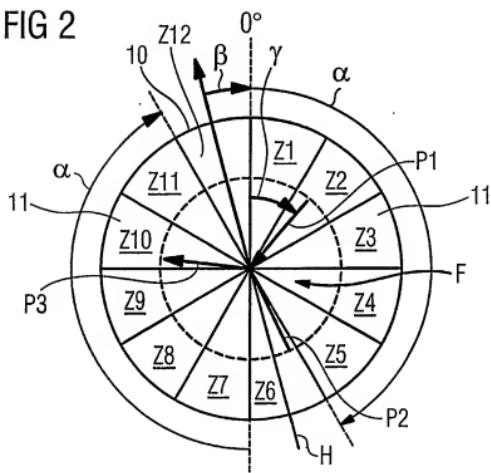


FIG 3

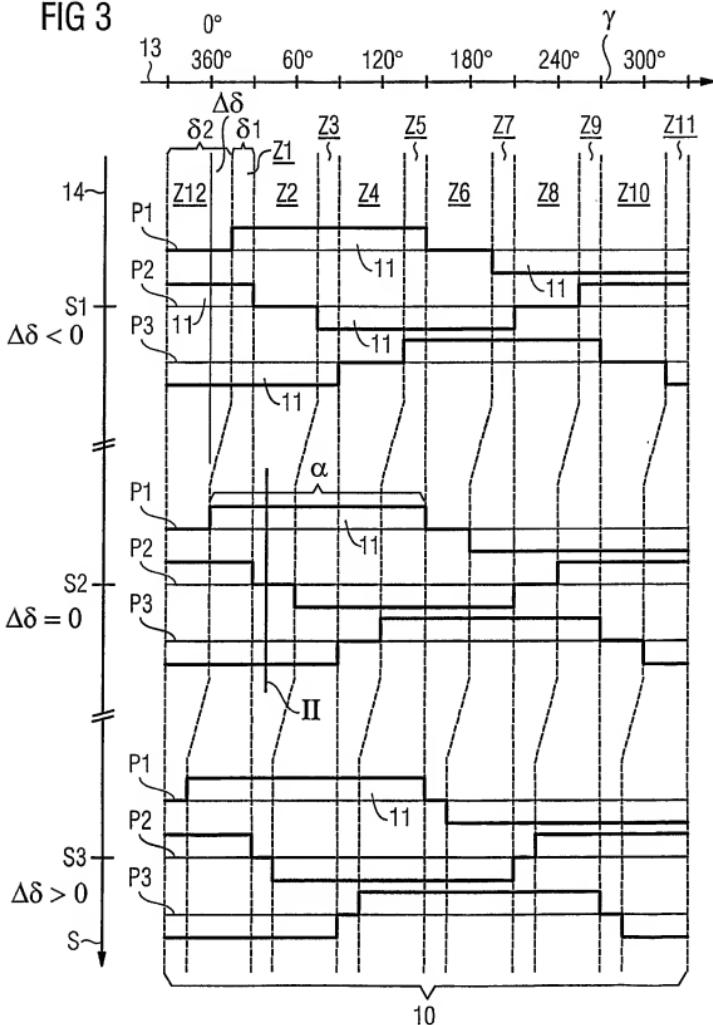


FIG 4

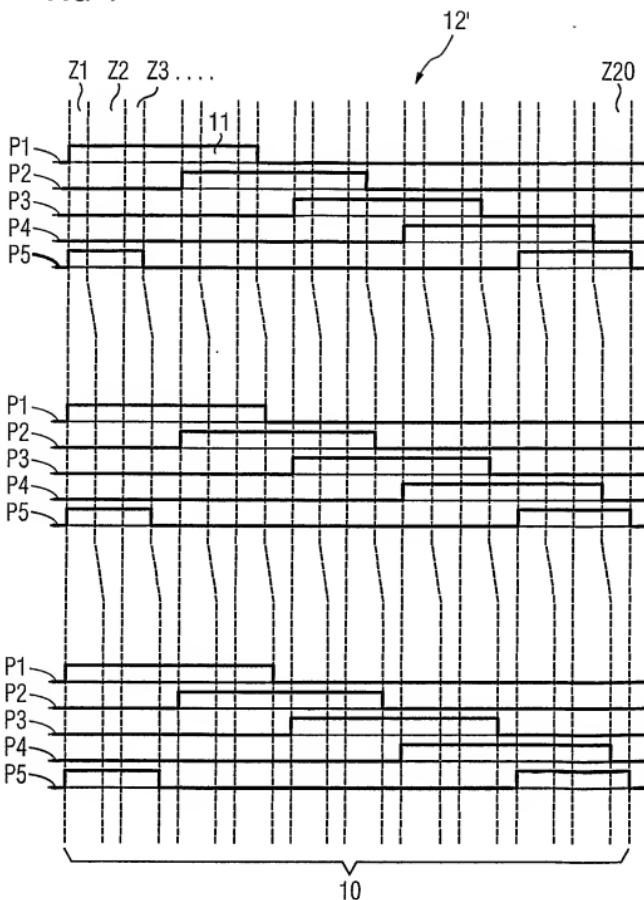


FIG 5

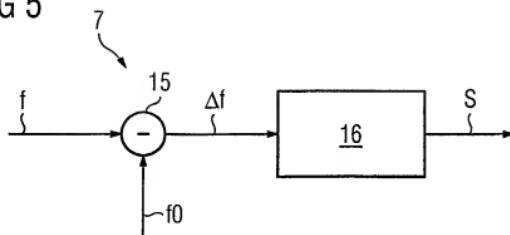


FIG 6

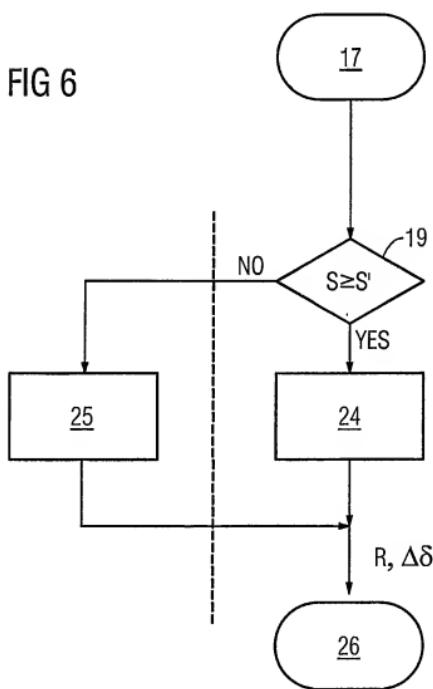


FIG 7

